

Segundo lugar Premio «Dr. Mario Shapiro»

Influencia de la PEEP en la correlación entre la DA-aO₂ y la PaO₂/FiO₂

Grisel Hernández Ríos,* Ulises Cerón Díaz†

RESUMEN

Introducción: El grado en que se afecta la capacidad de oxigenación a nivel pulmonar, es evaluado por índices que no incorporan el efecto de intervenciones que pueden afectar su resultado, independientemente del grado de lesión pulmonar. Recientemente se ha descrito una ecuación que ajusta la PaO₂/FiO₂ con la presión positiva al final de la espiración, para mejorar la correlación lineal con la DA-aO₂. Nuestro propósito es reproducir este trabajo con datos locales y encontrar las explicaciones de los cambios en la correlación.

Material y métodos: Incluimos prospectivamente a 91 pacientes mecánicamente ventilados en la Unidad de Terapia Intensiva, durante un periodo de seis meses. Se obtuvieron los datos gasométricos arteriales para el cálculo del gradiente alvéolo-arterial (DA-aO₂), la relación PaO₂/FiO₂ y se obtuvo el valor de la presión positiva al final de la espiración al momento de la toma de la gasometría. Se hicieron correlaciones entre la PaO₂/FiO₂ y la DA-aO₂, con y sin ajuste con la presión positiva al final de la espiración, así como con la ecuación reportada por Sánchez y colaboradores (Ln [PaFi]/ [PEEP+12]).

Resultados: La correlación lineal entre PaO₂/FiO₂ y la DA-aO₂ (r² = 0.67) incrementa al transformar la PaO₂/FiO₂ a valores logarítmicos, con (r² = 0.75) o sin (r² = 0.87) el ajuste con la presión positiva al final de la espiración propuesto por Sánchez.

Conclusión: El incremento en la correlación lineal entre la DA-aO₂ y la PaO₂/FiO₂ ajustada con la presión positiva

SUMMARY

Introduction: The degree to which it affects the ability of oxygenation in the lungs, is evaluated by indices that do not include the effect of interventions that can affect the outcome, regardless of the degree of lung injury. Recently described an equation that adjusts the PaO₂/FiO₂ with positive end-expiratory pressure to improve the linear correlation with the DA-aO₂. Our purpose is to perform the work with local data and find the explanations of changes in the correlation.

Materials and methods: We prospectively included 91 mechanically ventilated patients in the Intensive Care Unit for a period of six months. We obtained arterial blood gas data for the calculation of the alveolar-arterial (DA-aO₂) PaO₂/FiO₂ relationship and obtained the value of positive end-expiratory pressure when taking blood gases. Correlations were made between PaO₂/FiO₂ and DA-aO₂, with and without adjusting the positive end-expiratory pressure as well as the equation reported by Sanchez et al (Ln [PaFi]/ [PEEP+12]).

Results: The linear correlation between PaO₂/FiO₂ and DA-aO₂ (r² = 0.67) increases in transforming PaO₂/FiO₂ to log values, with (r² = 0.75) or without (r² = 0.87) with positive end-expiratory pressure adjustment proposed by Sanchez.

Conclusion: The increase in the linear correlation between the DA-aO₂ and the PaO₂/FiO₂ and positive end-

* Médico Residente V Medicina del Enfermo en Estado Crítico.

† Médico adscrito al Servicio de Terapia Intensiva.

Unidad de Terapia Intensiva «Dr. Alberto Villazón Sahagún», Hospital Español de México.

Fecha de recepción: 14 de agosto 2013

Fecha de aceptación: 11 de septiembre 2013

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medigraphic.com/medicinacritica>

al final de la espiración, es consecuencia de la transformación logarítmica y no por el valor agregado de la presión positiva al final de la espiración.

Palabras clave: Gradiente alvéolo-arterial de oxígeno, PaO_2/FiO_2 , oxigenación.

INTRODUCCIÓN

La relación PaO_2/FiO_2 es un índice muy extendido para evaluar el intercambio de oxígeno; los cambios de la FiO_2 ejercen una influencia sobre la fracción del cortocircuito intrapulmonar observado.² Es decir, al incrementar la FiO_2 a uno, los efectos de las alteraciones de la relación ventilación/perfusión pueden ser enmascarados, pudiendo subestimar el cortocircuito intrapulmonar, sobre todo en situaciones en las que existe una disminución de la relación ventilación/perfusión, por ejemplo, aquellos pacientes con asma y EPOC, además habrá que considerar que con FiO_2 elevadas suelen producirse atelectasias, las cuales a su vez incrementan el cortocircuito.³

Por otra parte, no debemos perder de vista que no existe una relación lineal entre la relación PaO_2/FiO_2 y la FiO_2 , ni siquiera cuando el cortocircuito permanece constante, ya que la PaO_2/FiO_2 puede mostrar distintos comportamientos para una mayor o menor FiO_2 en función de la fracción de cortocircuito presente. Todo lo anterior viene determinado por la compleja relación entre la curva de disociación de la hemoglobina, la presión arterial de CO_2 y los niveles de hemoglobina.^{4,5}

Por sí misma la PEEP (presión positiva al final de la espiración) modifica la relación PaO_2/FiO_2 , de tal forma que un mismo valor de ésta puede ser obtenido en condiciones respiratorias muy distintas con PEEP diferentes.⁶ Dichos problemas se han tratado de corregir mediante la creación de índices derivados de la PaO_2/FiO_2 por la presión media de la vía aérea;⁷ este estudio se llevó a cabo en pacientes postoperados de cirugía cardíaca en ventilación mecánica, en la que a la relación PaO_2/FiO_2 se infiere la inclusión de la PEEP a través de la presión media de la vía aérea; sin embargo, su utilidad no se ha extendido en pacientes adultos.

La PaO_2/FiO_2 ha sido ampliamente utilizada en pacientes bajo ventilación mecánica; sin embargo, no explica el estado funcional del pulmón por cambios primarios en la PEEP; de tal forma que pacientes con una relación PaO_2/FiO_2 idéntica con diferente valor de PEEP no tienen el mismo grado de compromiso en la capacidad de oxigenación pulmonar.

expirative pressure is set with the result of the logarithmic transformation and not by the added value of positive end-expirative pressure.

Key words: Alveolar-arterial gradient of oxygen, PaO_2/FiO_2 , oxygenation.

De lo anterior se desprende un estudio¹ en el que se introduce la PEEP a un nuevo modelo matemático a partir del cual se pretende mejorar la correlación entre la $DA-aO_2$ y la relación PAO_2/FiO_2 ; el coeficiente de determinación de 0.62 del modelo sin PEEP sube a 0.72 con el modelo en el que se incluye la PEEP.

Una correcta clasificación de la gravedad de la falla hipoxémica es indispensable para efectos clínicos y para la investigación ya que permitiría homogeneizar los grupos investigados y con ello mejorar la validez interna de los estudios. Lo anterior justifica el esfuerzo de encontrar un parámetro que clasifique mejor la gravedad de este grupo de pacientes, así como un mejor índice de oxigenación que evalúe de forma eficiente el grado de intercambio de gases en condiciones clínicas distintas; ya que en estudios similares no se han incluido aquellas variables que modifican dichos índices de oxigenación, el omitir la contribución de estas conducirá a infraestimar el nivel de deterioro del intercambio gaseoso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se incluyeron pacientes en ventilación mecánica invasiva, ingresados en un periodo de seis meses, a quienes se les realizó gasometría arterial en su primer día de ingreso. Una vez que el paciente presentaba varias horas de estabilidad hemodinámica (con o sin fármacos) y respiratoria (no variaba la saturación en las últimas dos horas), se determinaban PaO_2 , $PaCO_2$, FiO_2 y PEEP (presión positiva al final de la espiración). De estas variables se obtenían tres más calculadas: la PaO_2/FiO_2 , diferencia $(A-a) O_2$, PAO_2 e índice respiratorio, a partir de las siguientes fórmulas:

$$PAO_2 = (585 - 47)(FiO_2) - [(PaCO_2/0.8)$$

$$DA-aO_2 = PAO_2 - PaO_2$$

$$IR = DA-aO_2/PaO_2$$

También se calculó la PaO_2/FiO_2 ajustada al valor de PEEP a través de la ecuación publicada por Sánchez:

$$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 = \text{Ln} (\text{PaFi}/[\text{PEEP}+12])$$

Se realizó una transformación logarítmica de la $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ a través de la siguiente fórmula:

$$\text{LnPaO}_2/\text{FiO}_2$$

Posteriormente se hicieron correlaciones para evaluar las siguientes hipótesis: a) la correlación lineal obedece al ajuste con PEEP y b) la correlación lineal obedece a la transformación logarítmica.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la descripción de las variables cuantitativas continuas, usamos la media y desviación estándar. Las variables cualitativas se describen en frecuencias y porcentajes. Para el análisis de correlación se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson y el coeficiente de determinación (r^2).

RESULTADOS

Fueron incluidos 91 pacientes con una edad promedio de 64 ± 13.71 años, los datos demográficos se muestran en el *cuadro I*. Las variables determinadas a partir de la PaO_2 , PaCO_2 , FiO_2 y PEEP se muestran en el *cuadro II*. La correlación entre la $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ y la DA-aO_2 obtuvo una $r = 0.93$ ($r^2 = 0.85$) (*Figura 1*). La correlación lineal entre la relación $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ajustada a la PEEP con la ecuación de Sánchez y la DA-aO_2 , obtuvo una $r = 0.86$ ($r^2 =$

Cuadro I. Características demográficas de la población.

n = 91	Media $\pm$ DE "n" (%)
Edad	64 ± 13.7
Sexo	
• Femenino	33 (36)
• Masculino	58 (63)
Diagnóstico principal	
• Choque séptico	31 (34)
• Sepsis severa	34 (37)
• Cáncer de pulmón de células claras	1 (1)
• EPID	2 (2)
• Hemorragia alveolar	21 (23)
• Falla respiratoria	
SAPS III	50.21 ± 17.92

DE = desviación estándar, EPID = enfermedad pulmonar idiopática difusa.

0.70) (*Figura 3*). La correlación entre la $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ transformada a valores logarítmicos y la DA-aO_2 obtuvo una $r = 0.91$ ($r^2 = 0.79$) (*Figura 4*). La correlación entre la PEEP y la DA-aO_2 obtuvo una $r = 0.07$ ($r^2 = 0.016$) (*Figura 2*).

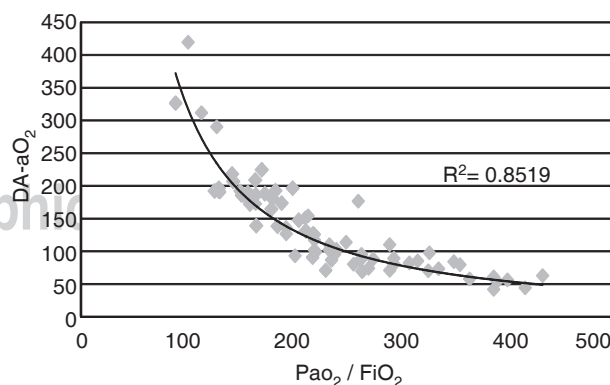
DISCUSIÓN

El gradiente alvéolo arterial de oxígeno se eleva uniformemente al aumentar la edad. De tal forma que la DA-aO_2 debe ajustarse de acuerdo con la siguiente fórmula: $\text{DA-aO}_2 = 7 + 0.27$ (edad).

Cuadro II. Variables.

Variable	Media $\pm$ DE
Hb	12.2 ± 2.4
FC	76.9 ± 8.8
PAM	73.5 ± 6.5
PaO_2	80.6 ± 19.0
PaCO_2	36.9 ± 8.9
PEEP	8.3 ± 3.0
PAO_2	219.1 ± 64
DA-aO_2	138.5 ± 70.6
IR	1.8 ± 1.1
$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$	226.0 ± 79.1
P50	27.3 ± 3.1
FiO_2	0.4 ± 0.1

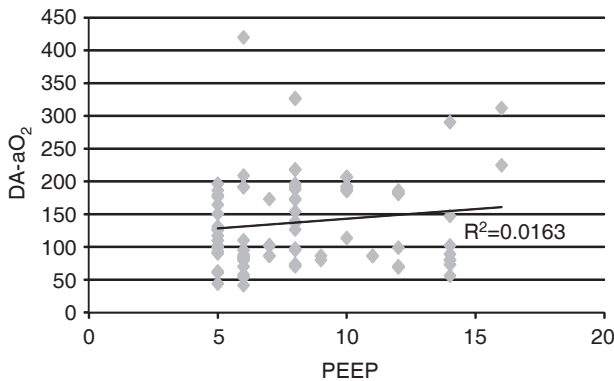
DE = desviación estándar, Hb = hemoglobina, FC = frecuencia cardiaca, PAM = presión arterial media, PaO_2 = presión arterial de oxígeno, PaCO_2 = presión arterial de dióxido de carbono, PEEP = presión positiva al final de la espiración, PAO_2 = presión alveolar de oxígeno, DA-aO_2 = diferencia alvéolo-arterial de oxígeno, IR = índice respiratorio, $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ = presión arterial de oxígeno/fracción inspirada de oxígeno, FiO_2 = fracción inspirada de oxígeno.



$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ = Presión arterial de oxígeno / Fracción inspirada de oxígeno.

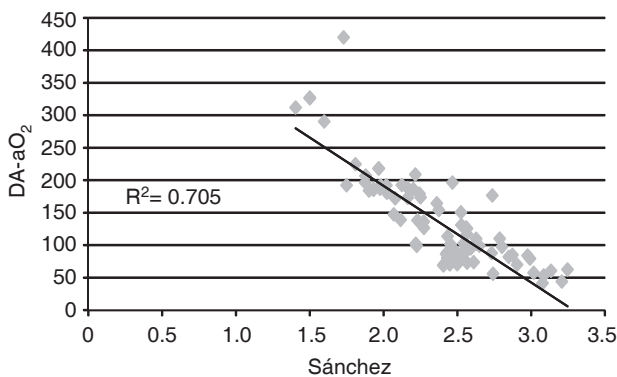
DA-aO_2 = Diferencia alvéolo arterial de oxígeno.

Figura 1. $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ vs DA-aO_2 .



PEEP= Presión positiva al final de la espiración
DA-aO₂= Diferencia alvéolo arterial de oxígeno

Figura 2. PEEP vs DA-aO₂

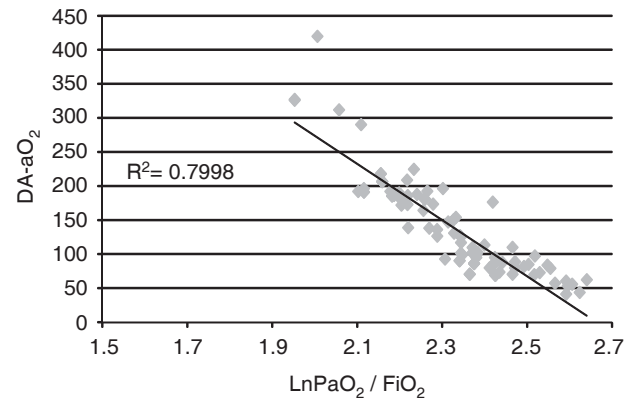


SÁNCHEZ= $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 = \ln(\text{PaFi}/[\text{PEEP}+12])$
DA-aO₂= Diferencia alvéolo arterial de oxígeno

Figura 3. Sánchez vs DA-aO₂.

Por otra parte, existe influencia del oxígeno inspirado sobre la DA-aO₂. Este gradiente aumenta de 15 a 60 mmHg al aumentar la FiO₂ el 21% (aire ambiente) al 100%, respectivamente. De acuerdo con esta relación, la DA-aO₂ normal aumenta de 5 a 7 mmHg por cada 10% de aumento de la FiO₂. Presumiblemente, este efecto es causado por la pérdida de vasoconstricción hipóxica regional en los pulmones. La vasoconstricción hipóxica regional durante la respiración complementaria de oxígeno mantiene el flujo sanguíneo en las regiones pulmonares mal ventiladas, y esto aumenta la fracción de cortocircuito intrapulmonar e incrementa la DA-aO₂.

Caso aparte es la ventilación mecánica con presión positiva, la cual eleva la presión en las vías respiratorias por encima de la presión atmosférica ambiental. Por lo tanto, cuando se determina la DA-aO₂



$\text{LnPaO}_2/\text{FiO}_2$ = Logaritmo natural de la presión arterial de oxígeno/Fracción inspirada de oxígeno.
DA-aO₂= Diferencia alvéolo arterial de oxígeno.

Figura 4. $\text{LnPaO}_2/\text{FiO}_2$ vs DA-aO₂.

en un paciente que depende de un ventilador, debe añadirse la presión media de las vías respiratorias a la presión atmosférica.⁷ Por lo que olvidar la contribución de la presión positiva de las vías respiratorias durante la ventilación mecánica conducirá a infraestimar el nivel de deterioro en el intercambio gaseoso.

La relación $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ es un índice muy extendido para evaluar el intercambio de oxígeno debido a su facilidad de cálculo; sin embargo, se infiere que el impacto que tiene este índice debiera modificarse al establecer diferentes niveles de PEEP (presión positiva al final de la espiración), de aquí el hecho de plantearnos el problema de si la correlación lineal encontrada por Sánchez es resultado del ajuste de la relación $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ aplicando PEEP a su modelo matemático, o es resultado solamente de la transformación logarítmica. Nuestros resultados corroboran que no existe correlación entre la PEEP y la DA-aO₂ y que la razón por la que mejora la correlación lineal es la transformación logarítmica de la $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$; por tal motivo no existiría diferencia en el ajuste si solamente se hace la transformación logarítmica de la $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ sin agregar el valor de la PEEP.

Aunque la DA-aO₂ es un parámetro útil para evaluar el deterioro en la capacidad de oxigenación, un determinado valor tiene un significado diferente dependiendo del nivel de apoyo mecánico (PEEP, presión positiva al final de la espiración), FiO₂ y edad del enfermo. Por esta razón, es necesario explorar las formas de ajustar esta variable para que refleje mejor el grado de deterioro del intercambio de gases y sirva como estándar de comparación para otras formas más fáciles de evaluar este importante parámetro.

CONCLUSIONES

No existe correlación entre la PEEP (presión positiva al final de la espiración) y la DA-aO₂. La razón por la que mejora la correlación lineal entre la PaO₂/FiO₂ y la DA-aO₂, como lo propone Sánchez y colaboradores, es la transformación logarítmica de la PaO₂/FiO₂, mas no el valor agregado por la PEEP.

AGRADECIMIENTOS

A las autoridades del Hospital Español de México, por confiar en el proyecto de investigación; al Dr. Ricardo Martínez Zubieta, Jefe de Servicio de la Unidad de Terapia Intensiva del Hospital Español de México, por su incondicional apoyo para llevar a cabo el protocolo de estudio, a los médicos adscritos, residentes y enfermeras que colaboraron directamente en la realización del protocolo de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Sánchez M, Quintana M, Palacios D, Hotigüela V. Relación entre el gradiente alvéolo-arterial de oxígeno y la PaO₂/FiO₂ introduciendo la PEEP en el modelo. *Med Intensiva*. 2012;36(5):329-334.
2. Santos C, Ferrer M, Roca J, Torres A, Hernández C, Rodríguez, et al. Pulmonary gas exchange response to oxygen breathing in acute lung injury. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000;161:26-31.
3. Bartter TC, Pratter MR, Abouzheib WB, Irwin RS. Respiratory failure part I: a physiologic approach to respiratory failure. In: Irwin RS, Rippe JM, editors. *Intensive care medicine*. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2008: pp. 491-498.
4. Karbing DS, Kjaergaard S, Smith BW, Espersen K, Allerød C, Andreassen S, et al. Variation in the PaO₂/FiO₂ ratio with FiO₂: mathematical and experimental description, and clinical relevance. *Crit Care*. 2007;11:R118.
5. Aboab J, Lous B, Jonson B, Brochard L. Relation between PaO₂/FiO₂ ratio and FiO₂: a mathematical description. *Int Care Med*. 2006;32:1494-1497.
6. Marini JJ, Wheeler AP. Respiratory monitoring. In: Marini JJ, Wheeler AP, editors. *Critical care medicine. The essentials*. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2010: pp. 81-113.
7. El-Khatib M, Jamaledine G. A new oxygenation index for reflecting intrapulmonary shunting in patients undergoing open-heart surgery. *Chest*. 2004;125:592-596.

Correspondencia:

Dra. Grisel Hernández Ríos
Médico Residente V Medicina
del Enfermo en Estado Crítico,
Hospital Español de México.
Av. Ejército Nacional Núm. 613,
Col: Granada, 11520,
Deleg. Miguel Hidalgo. México, D.F.
Tel: 52 55 96 00
E-mail: grisel_hr@yahoo.com.mx